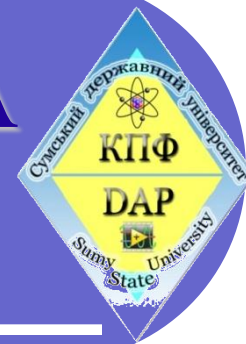


ЕЛЕКТРОННА ТА ІОННА ОПТИКА



Викладач

к.ф.-м.н. Пазуха І.М.

Тема 1

ЗАКОНИ РУХУ ЕЛЕКТРОНІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ПОЛЯХ

Лекція № 1

Основні відомості про елементарні частинки

Принцип дії електронних та іонних приладів заснований на русі вільних частинок, які, завдяки своєму заряду, піддаються впливу з боку електричних та магнітних полів.

Розрізняють чотири групи елементарних частинок, які використовуються в цих приладах:

- електрони;
- іони;
- нейтральні атоми (або молекули);
- кванти електромагнітного випромінювання (фотони, кванти рентгенівського та радіоактивного випромінювання)

Електрон

Електрон — це елементарна частинка, що має постійний негативний електричний заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Маса спокою електрона дорівнює $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Згідно теорії відносності величина маси частинки, що рухається, визначається за співвідношенням:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (1.1)$$

де $\beta = \frac{v}{c}$, v і c — швидкості електрона і світла відповідно.

Електрон

- ❖ Пройшовши різницю потенціалів U , електрон набуває кінетичної енергії

$$E_k = \frac{m_0 v_k^2}{2} = eU \quad (1.2)$$

- ❖ Згідно “класичної” теорії

Швидкість набута електроном під час руху в електричному полі, при початковій нульовій швидкості

$$v_k = \sqrt{\frac{2e}{m_0} \cdot U} = 600\sqrt{U} \quad (1.3)$$

Електрон

Згідно “релятивістської” теорії

➤ закон збереження енергії:

$$m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_p^2}{c^2}}} - 1 \right) = eU$$

➤ релятивістська швидкість руху електрона:

$$v_p = 600 \sqrt{U} \frac{\sqrt{1 + 10^{-6} \cdot U}}{1 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot U} \quad (1.4)$$

Електрон

- При прискорюючих напругах до **20 кВ** можна проводити розрахунки без урахування релятивістської поправки на швидкість руху електрону
- При прискорюючих напругах **більших за 20 кВ** необхідно при розрахунках використовувати її релятивістське значення:

$$U^* = \frac{U(1+10^{-6} \cdot U)}{1+4 \cdot 10^{-6} \cdot U} \quad (1.5)$$

Іон

Іон – одноатомна або багатоатомна електрично заряджена частинка речовини, яка утворюється з атома внаслідок приєднання або втрати електрона.

Іонізація – процес виривання із електронної оболонки атома чи молекули одного або декількох електронів.

Іонізація може відбуватися при високих температурах, під впливом електричного поля, іонізуючого випромінювання та ін.

Класифікація

- в залежності від приєднаних електронів – однозарядні або багатозарядні
- атомарні, молекулярні і кластерні.

Іон

- **Рух іонів** в рамках **класичної** та **релятивістської механіки** описується за тими ж законами, що і рух електрона, тому **співвідношення (1.1)-(1.4)** справедливі і для іона.
- Для іонів **релятивістське відхилення** спостерігається **при напругах**, що перевищують **10^8 В**.
- **Особливість іонів:**
 - значно більша у порівнянні з електроном маса;
 - швидкість іонів в 100-1000 разів менша, ніж у електронів у відповідності із співвідношенням (1.3).

Кванти випромінювання

Оптичне випромінювання – явище яке представляє собою:

- **електромагнітну хвилю**, що поширюється у вакуумі зі сталою за величиною швидкістю,
- **потік заряджених частинок** (фотонів), що мають енергію і імпульс

Оптичне випромінювання:

- **видиме людським оком оптичне**;
- **інфракрасне**;
- **ультрафіолетове** випромінювання.

Кванти випромінювання

Закон фотоефекту: $E_{\phi} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = eU_{\phi}$

де $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Вт·с²(Дж·с) – постійна Планка;

ν – частота випромінювання;

λ – довжина хвилі, Å;

U_{ϕ} – вольт-еквівалент енергії фотона.

Тоді,
$$U_{\phi} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e} = \frac{12400}{\lambda} \quad (1.6)$$

Імпульс фотона:
$$p = \frac{E_{\phi}}{c} = \frac{h\nu}{c} = h\lambda$$

Кванти випромінювання

Рентгенівське випромінювання виникає при бомбардуванні пучком високоенергетичних електронів поверхні твердого тіла.

У наслідок **непружного** розсіювання електронів на внутрішніх оболонках атомів виникає:

➤ **гальмівне (безперервне)** рентгенівське випромінювання.

Має **безперервний** спектр з енергіями квантів, які можуть набувати значення від нуля до енергії первинного пучка

➤ **характеристичне** рентгенівське випромінювання.

Спектр характеристичного випромінювання представляє собою **набір ліній**, інтенсивність яких значно перевищує інтенсивність фонового гальмівного випромінювання

Кванти випромінювання

Закон Мозлі:

$$\omega = R(Z - \sigma)^2 \cdot \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_{i+k}^2} \right),$$

де $R = 2,06 \cdot 10^{-16} \text{ с}^{-1}$ – стала Рідберга;

Z – атомний номер матеріалу;

σ – коефіцієнт, характерний для певної серії випромінювання;

n – головне квантове число, у першому наближенні

позначає номер оболонки, на якій знаходяться електрони з однаковою енергією.

Кванти випромінювання

Радіоактивне випромінювання:

- **α -випромінювання** (відхиляється магнітним полем так само як і потік додатньо заряджених частинок; характеризується високою іонізаційною та незначною проникаючою здатністю);
- **β -випромінювання** (відхиляється магнітним полем так само як і потік від'ємно заряджених частинок; характеризується приблизно у два рази меншою проникаючою та значно більшою поглинаючою здатністю ніж у α -частинок);
- **γ -випромінювання** (не відхиляється магнітним полем; характеризується відносно слабкою іонізаційною і досить великою проникаючою здатністю).

Енергетичні рівні

- Електрон навколо ядра розташовуються на певних оболонках, що позначаються K , L , M , N і т.д.
- Всього може бути до 7 оболонок.
- Кожен електрон в оболонці володіє певною потенціальною енергією, яка зростає зі збільшенням радіуса оболонки.

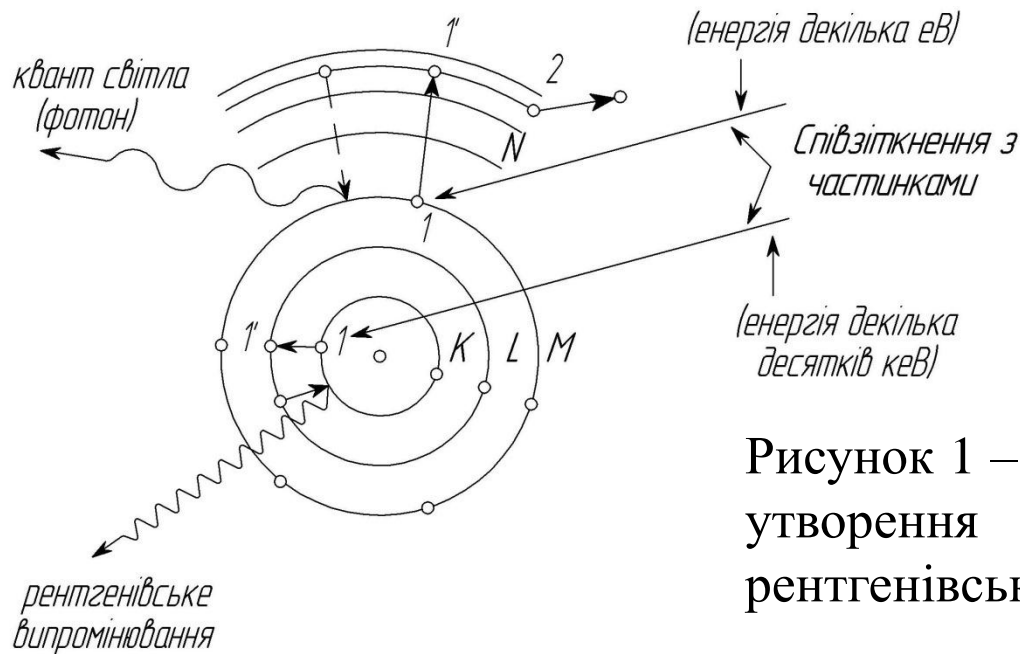


Рисунок 1 – Енергетичні рівні атома та утворення квантів світла й рентгенівського випромінювання

Енергетичні рівні

➤ Якщо надати електрону деяку кількість енергії із зовні, то він може подолати силу притягіння ядра та перейти із внутрішніх оболонок на зовнішні збільш високою потенційною енергією. **Атом переходить із нормального у збуджений стан.**

➤ Час життя у збудженому стані $10^{-8} - 10^{-9}$ с.

➤ Зворотній процес переходу електрона із зовнішніх оболонок на внутрішні супроводжується виникненням електромагнітного випромінювання – фотона або рентгенівського випромінювання

➤ Енергія фотона дорівнює: $E_{\text{ф}} = h\nu = E_1 - E_2$.

Іонізація

Мінімальна енергія збудження – це найменша величина енергії, яку необхідно надати електрону, із найменшою енергією зв'язку з ядром, щоб перевести його на більш віддалену оболонку:

$$E_3 = eU_3 ,$$

де U_3 – мінімальний потенціал збудження.

Енергія іонізації - найменша енергія, яка необхідна для повного звільнення найменш пов'язаного з ядром електрона:

$$E_i = eU_i,$$

де U_i – потенціал іонізації, тобто найменша різниця потенціалів, яку необхідно пройти електрону, щоб іонізувати атом.

Іонізація

Види іонізації:

- **електрична** – на атоми речовини діють електрони, тобто зіткнення з електронами або іонами;
- **теплова** – зіткнення з атомами того ж або іншого газу (або речовини), наприклад, при нагріванні;
- **фотоіонізація** – оптичне збудження, тобто збудження або іонізація квантами світла (фотонами).

Іонізація

Ймовірність іонізації дорівнює нулю, якщо $E_k = E_i$, далі зростає поступово з ростом E_k і досягає максимуму при

$$E_k = (4-6)E_i.$$

Рекомбінація заряджених частинок – процес зворотний іонізації.

Рекомбінація це утворення нейтральних атомів (або молекул) з вільних електронів і позитивних іонів.

Рекомбінація **відбувається** головним чином **в іонізованих газах** і приводить до зникнення заряджених частинок.

Дякую за увагу!